植物研究雑誌
J. Jpn. Bot.
81: 148–153 (2006)

ヒジキ（褐藻綱，ホンダワラ科）の気胞内髄糸の形態

高橋昭善，田中次郎

東京海洋大学 108-8477 東京都港区港南 4–5–7

Morphology of the Vesicular Medullary Strand in *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell (Phaeophyceae, Sargassaceae)

Akiyoshi TAKAHASHI and Jiro TANAKA

Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology,
4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477 JAPAN
E-mail: jtanaka@s.kaiyodai.ac.jp

(Received on October 24, 2005)

A colorless and transparent filament, vesicular medullary strand was observed inside a bladder of *Sargassum patens* C. Agargh (Takahashi et al. 2000). Since then, it has been found in 14 species of *Sargassum* and related genera. The vesicular medullary strand of *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell differs in many features from that of the other 14 species investigated. The strand exists in several types of lamina, including the thick juvenile, dentate, spindle and clavate ones, and it shows several variations in its form. Each 1/4 to 1/3 of the strands shows the straight, dichotomous and buried form, respectively. Furthermore it does not have the hole at the center in its transverse section, which means that it is clearly different from the other members of *Sargassum* species known so far.

Key words: Fucales, *Sargassum*, *Sargassum fusiforme*, vesicular medullary strand.

褐藻ホンダワラ科ヤツマタモク *Sargassum patens* の気胞内部に無色で透明感をもつ糸状組織が基部から先端にかけて直線状に張られているのを発見した．この糸状組織は長さ2–8 mm，長径112–224 μm，短径90–203 μm で，その横断面から100–150本の糸状細胞が集まって構成されていることが明らかになった．これを気胞内髄糸（vesicular medullary strand 以下髄糸とする）と名づけた．髄糸はヤツマタモクだけでなくジョロモク *Myagropsis myagroides* (Mertens ex Turner) C. Fensholt，アカモク *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh，シロコモク *Sargassum kushimotense* yendo などにも存在することがわかった（高橋ら 2000）．

その後の調査からホンダワラ類53種のうち15種に髄糸の存在を確認した．その中の一種，ヒジキ *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell は他のホンダワラ類とは異にして，髄糸はさまざまな枝に存在すること，その形態に変異があること，またその存在が不確実であることなどがわかってきた．ここではその詳細な観察を報告する．

材料および方法

野外で採集した材料は，10 %海水ホルマリンを用いて保存した．また東京海洋大学藻類学研究室標本庫所蔵（MTUF-AL）のさく葉標本も用いた．髄糸の観察は各種の葉の膨らんだ部分を基部より先端部にかけて半分カ

ミソリで削いだ試料を用いて行った．また横断面の観察は氷結式ミクロトーム（FX-80大和光機株式会社）を用いて切片（厚さ20–30 µm）を作成し，光学顕微鏡で観察し，必要に応じて銀塩カメラ（Fuji Neopan SS フィルム）とデジタルカメラ（Olympus C-4100）を用いて撮影した．

調査した標本の採集地，採集日時，標本番号を以下に示す．

千葉県館山市沖ノ島2000-6-4（MTUF-AL-21080）；徳島県鳴門市2002-2-14（MTUF-AL-21081）；神奈川県横須賀市天神島2002-6-28（MTUF-AL-21082）；2002-9-21（MTUF-AL-21083）；2002-10-21（MTUF-AL-21084）；2002-11-22（MTUF-AL-21085）；2003-1-18（MTUF-AL-21086）；2003-2-18（MTUF-AL-21087）；2003-5-2（MTUF-AL-21089）；和歌山県白浜市2003-3-30（MTUF-AL-MTUF-AL-21088）；沖縄県泡瀬2003-5-9（21090）；神奈川県葉山町柴崎2003-10-6（MTUF-AL-21091）．

なお，観察は主に横須賀市天神島産のものを用い，和歌山県白浜産の標本についても詳細に観察した．

結　果

ヒジキの葉といわれる部分は，生育の諸段階でいくつかの形態を持ち，幼葉，鋸歯葉，紡錘状葉（気胞），棍棒状葉などに分けられる（Fig. 1）．これらの多くは内部に中空を持つことが多い。上記採集地からの材料をもとに，上記の葉の型ごとに分けて，中空内における髄糸の有無を調べ，髄糸がある場合にはその形態を観察した．

1）肉厚幼葉

萌芽期の幼葉には偏平なものと肉厚なものとがある．肉厚幼葉の最大のものは葉長12 mm．葉幅 4 mm であり，藻体の生長に伴い早落する．肉厚幼葉では先端部に中空が存在し，いくつかの形態をもつ髄糸が観察された．しかし偏平幼葉では髄糸を確認できなかった．調査した肉厚幼葉の気胞数96個中，中空に張られた直線状の髄糸は38個（Fig. 2），先端部が二叉分枝したり，一部内壁面に埋在する髄糸は27個（Fig. 3），その全体が内壁面に埋在する髄糸は31個であった（Fig. 4）．その存在比率はそれぞれ30 %前後である（Table 1）．また和歌山県産の肉厚幼葉では，枝基部で直線状に張られた髄糸の先端部にかけて二叉分

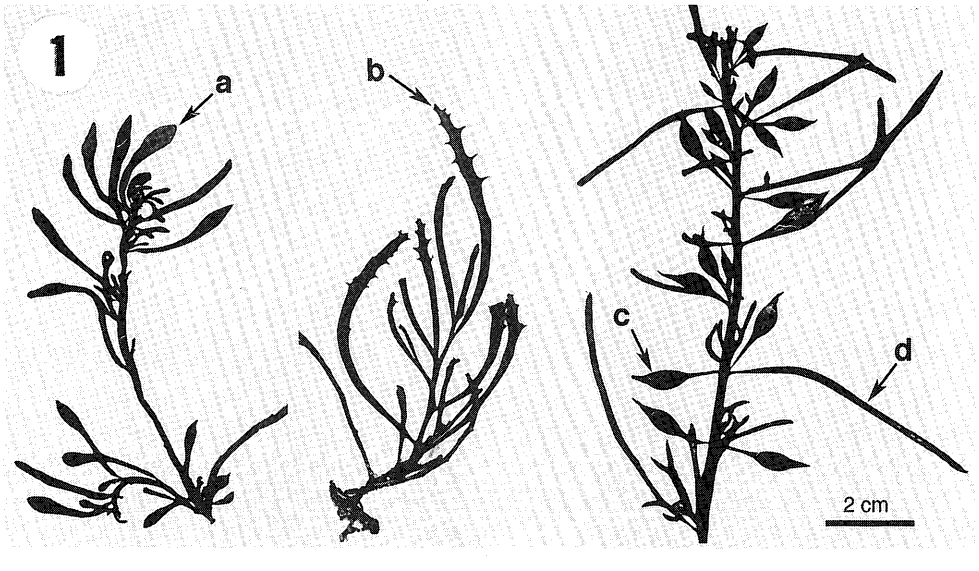
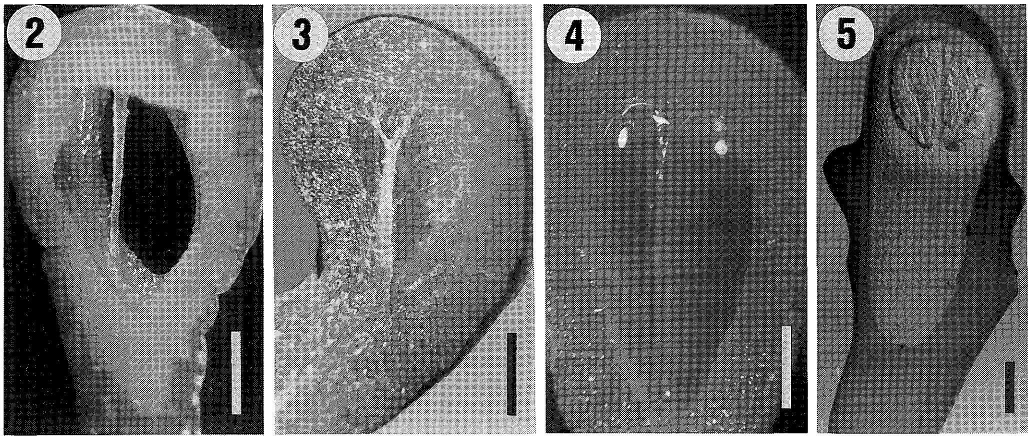


Fig. 1. Several leaf forms of *Sargassum fusiforme*. a. thick juvenile leaf. b. dentate leaf. c. spindle leaf, d. clavate leaf. Scale bar = 2 cm.



Figs. 2–5. Medullary strand of *Sargassum fusiforme*. Figs. 2–4. Thick juvenile leaf. Fig. 2. Straight strand. Fig. 3. Dichotomous strand. Fig. 4. Half buried strand. Fig. 5. Half buried strand in a dentate leaf. Scale bar = 2 mm.

Table 1. Existence of medullary strand in several leaf forms of *Sargassum fusiforme*

Leaf form	Number of individuals	Straight (%)	Buried (%)	None (%)
Thick juvenile	96	40	28	32
Dentate	8	0	37	63
Spindle	45	33	22	45
Clavate	32	25	39	36

枝するもの，また髄糸から内壁へ糸状細胞が数本伸びている直線状髄糸がみられた．

2）鋸歯葉

鋸歯葉は横須賀市天神島では秋から初冬にかけて生育初期の段階で現れる．その形態はへら状で偏平，縁辺にいくつかの鋸歯をもつ．葉長は5–7 cm．葉幅は2–4 mm．しかし出現数は多くない．藻体の先端にわずかな中空部をもち，幼葉同様に早落する．藻体内の一部には埋在した髄糸の形態がみられるものの，中空における直線状髄糸は確認できなかった（Fig. 5）．

3）紡錘状葉（気胞）

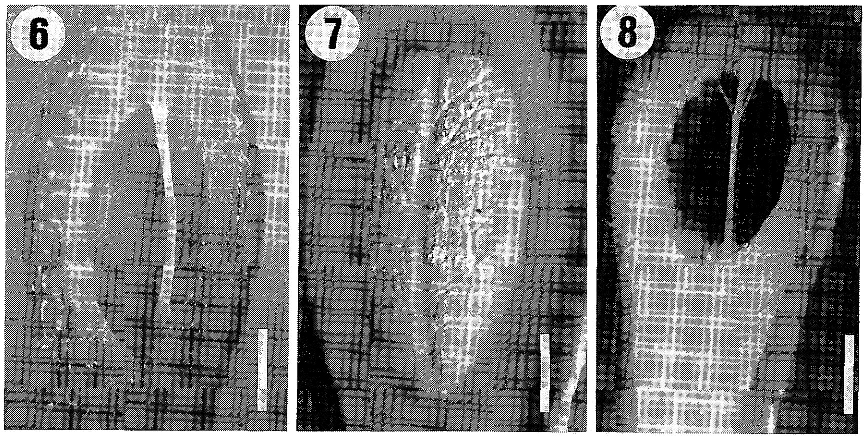
一般にヒジキの気胞とよばれる部分で中央部が僅かに膨らむ形態をもつ．おもに葉腋部位に生ずる．調査した45個中，直線状の髄糸は15個（Fig. 6），内壁に半埋在しているもの（Fig. 7），および全体が埋在しているもの10個，糸状細胞が埋在しているもの20個であった．

4）棍棒状葉

この形態の葉は成熟が進むにつれて形成されてくる．最盛期は4–5月であり，最大葉長は10 cm，葉幅は3–4 mm．その葉の先端に僅かな中空部があり，その部分を観察した結果，半埋在する髄糸が多数を占め，直線的な髄糸は32個中8個であった（Fig. 8）．

ついで，天神島産の肉厚幼葉の髄糸の形成過程および髄糸の横断面の観察結果を述べる．

気胞の直径3 mmほどの枝基部における横



Figs. 6–8. Medullary strand of *Sargassum fusiforme*. Figs. 6–7. Spindle leaf. Fig. 6. Straight strand. Fig. 7. Half buried strand. Fig. 8. Straight strand in a clavate leaf. Scale bar = 2 mm.

断面は，薄い表層，膨らみをもつ多角細胞の皮層，そして中央部に糸状細胞が集まる髄層からなる．この部位では髄糸は髄層の一部を構成している（Fig. 9）．直径が5 mmほどになる気胞の中下部では，髄層と皮層の境目付近の細胞間隙が広がり，中空ができる．皮層細胞は全体に膨らみが大きくなっている（Fig. 10）．さらに上部に行くにつれ，中空が広がるとともに糸状細胞からなる髄層は一部の気胞では中空部に伸び，他の気胞は内壁面の一部に集まり，半埋在もしくは埋在する髄糸となる（Fig. 11）．

以上のことから，髄糸の形成の過程を推測すると，枝の髄層を構成する一部の密に並んだ糸状細胞の束が，気胞の中空部へ伸びて髄糸となるのであろう．髄糸の基部付近や中空部の髄糸の周囲には内壁面と分離していく過程でちぎれた糸状細胞が房となっているのが観察される．

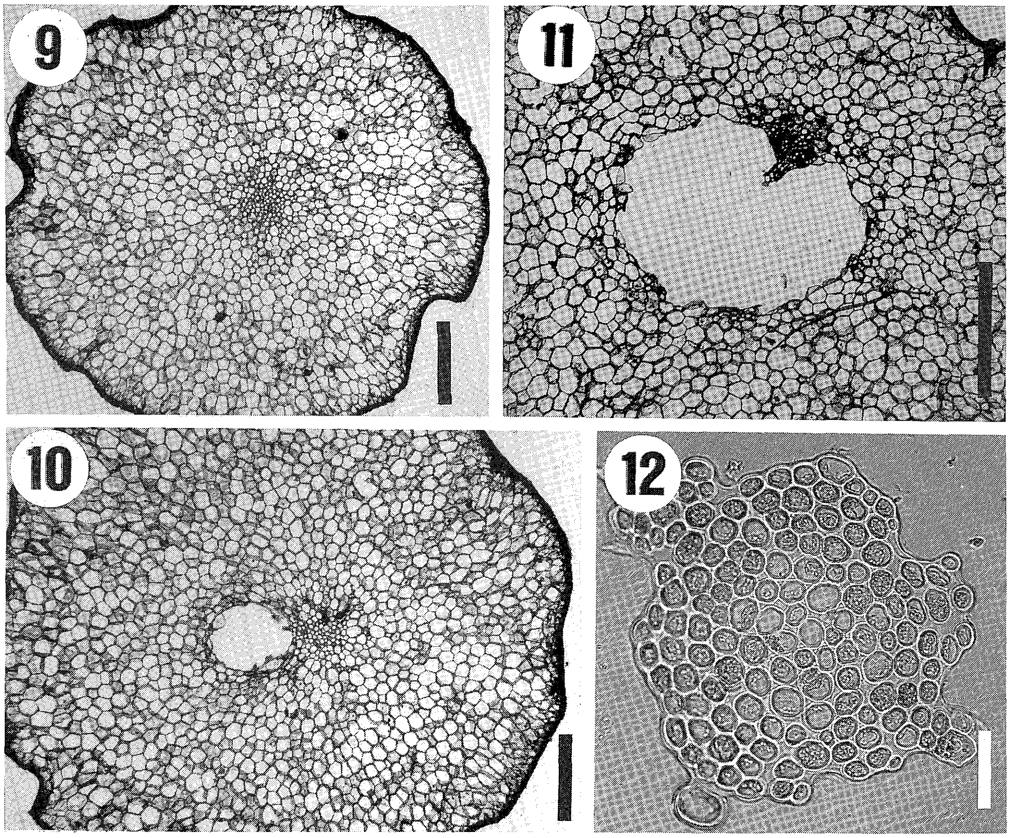
髄糸の横断面を観察すると，その直径は200 × 300 μmで，ほぼ円形をしており，その中に直径およそ20 μmの糸状細胞が約150–200本密に存在している．しかしながら，これまで観察した他のホンダワラ類にみられるような髄糸中央部に存在する中空はない（Fig. 12）．

考　察

一般にホンダワラ類の気胞とは中空化した紡錘状葉を指す．この気胞は藻体が効果的に受光するための浮力的役割をもつとされる（Damant 1937）．

ヒジキは他のホンダワラ類と比較して茎，枝，そして葉などがはっきり分化していない種であり，以前はホンダワラ属とは別属にされていた（岡村 1930）．ヒジキの中空部は紡錘状葉にだけでなく，萌芽期の肉厚幼葉や成熟期の棍棒状葉などにも存在する．これはホンダワラ類の多くが低潮線より下の潮下帯に生育するのに対して，ヒジキは潮間帯に生育することに起因するものと思われる．すなわち，ヒジキは気胞という特別の葉ではなく，体の各部分がそれぞれ浮力を持っており，干潮時でも藻体のすべての部分を水面に浮かせることができる．

本研究では，ヒジキの気胞をもつ葉の髄糸の有無を確認するために，少しでも膨らんでいる葉を選んで切片を作成した．その結果，葉の中空部の基部から先端部にかけて張られた直線状の髄糸は，偏平な幼葉と鋸歯状葉を除いた，肉厚幼状葉，紡錘状葉，棍棒状葉にそれぞれ25–40 %存在すること，また二叉分枝形や半埋在型髄糸は約30 %存在することが明らかとなった．一方，髄糸をもつヤツマ



Figs. 9–12. Cross section of a medullary strand of *Sargassum fusiforme*. Fig. 9. Cross section of a basal part of a bladder. Fig. 10. Cross section of a lower part of a bladder, showing an air cavity. Fig. 11. Half buried strand at the basal part of a spindle leaf. Scale bar = 500 µm. Fig. 12. Cross section of a medullary strand. Scale bar = 50 µm

タモク，シロコモク，シダモク *S. filicinum* Harvey，カラクサモク *S. pinnatifidum* Harvey などの髄糸の形態はほとんどが直線状であり，大小を問わずどの気胞からも髄糸の存在は確認できる．例外として，アツバモク *S. crassifolium* J. Agardh はヒジキ同様多様な髄糸形態をもつが，気胞は他の葉とははっきりと区別できることでヒジキとは異なる．ヒジキように多様な髄糸形態をもつこと，各種の葉に髄糸が存在すること，またその存在の不確実さのいずれもヒジキの器官の分化の程度が低いことを示すものと思われる．

ホンダワラ類の枝や葉の内部構造は表層，皮層，髄層から成る（岡村 1930）．気胞内の髄糸は髄層の一部が中空に残されたものであり，気胞は枝や葉と相同の器官といえる．気胞は藻体を浮かせて立ち上がる支持的な役割だけでなく，その髄糸は枝や葉の髄層と同様に通道的な役割も担っていると考えられる．

ここで葉の中空部と髄糸の形成過程を推論してみる．葉の一部の皮層細胞が外側に膨らみ，皮層と髄層に細胞間隙が生ずる．この部分から細胞破壊が始まり（猪野 1956），皮層と髄層が離脱し中央部に空洞ができる．しかし糸状細胞が密着している髄層の中央部は崩壊せずに中央に残る．最終的にこの部分は，葉の中空部の基部と先端部を貫く髄糸に生長する．

一般にホンダワラ類の髄糸は百から数百本の糸状細胞糸が集合したもので，その中心部には中空が存在する（高橋ほか 2000）．上記のように葉が気胞となるために膨らむ際に，皮層と髄層の伸長の程度は異なっている．気胞の中央部にある髄糸でも外側細胞と内側細胞とで伸長のずれが生じ，そのひずみが髄糸の中心部に細胞間隙を形成し，それが空洞（中空）となるものと考える．しかしながらこの形状はヒジキにはみられない．それはヒジキの気胞をつくる葉の内部の組織が未分化であるため，髄層と皮層の境界があいまいで，細胞組織の結びつきが強く，髄糸の内部崩壊までには至らないためと考える．ヒジキの髄糸にはその表面に凹凸が多くみられる．これは髄糸と気胞の内壁面間の結びつきが強いために分離が進まず，髄糸の周囲の糸状細胞が残ってしまったためと考えることができる．

この研究を行うに当たり，ご理解とご協力をいただきました横須賀市大楠漁業協同組合並びに横須賀市自然・人文博物館天神島ビジターセンターの方々に深謝いたします．

引用文献

Damant G. C. C. 1937. Storage of oxygen in the bladders of the seaweed *Ascophyllum nodosum* and their adaptation to hydrostatic pressure. J. Exp. Biol. **14**: 198–209.

猪野俊平 1956．植物組織学．604 pp．内田老鶴圃，東京．

岡村金太郎 1930．藻類系統学．522 pp．内田老鶴圃，東京．

高橋昭善，井上　勲，田中次郎．2000．ヒバマタ目褐藻綱の気胞に内在する髄糸の形態観察．植物研究雑誌 **75**: 339–346.

摘　要

ヒジキの髄糸は肉厚幼葉，鋸歯葉，紡錘状葉（気胞葉），棍棒状葉のいずれにも存在する．この髄糸は，他の髄糸をもつホンダワラ類とは異なり直線形，二叉分枝形，半埋在形，埋在形，など多様である．また，その存在の割合も不定であり，直線形髄糸は鋸歯葉を除いた葉にも25–40 %にみられ，内壁に埋没した髄糸はいずれの葉にも30 %程度みられた．さらに，ヒジキの髄糸の形態で他のホンダワラ類と大きく異なる点は，髄糸中央部に中空部が存在しないことである．